

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФАЗИРОВАННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

*Разработана модель формирования акустических полей многоэлементных фазированных ультразвуковых преобразователей для неразрушающего контроля и диагностики и исследовано влияние их конструктивных параметров на появление дифракционных лепестков для выработки научно-обоснованных рекомендаций при их проектировании.*

**Ключевые слова:** *фазированные ультразвуковые преобразователи, акустическое поле, дифракционные лепестки, моделирование, конструктивные параметры.*

К многоэлементным преобразователям в ультразвуковой (УЗ) диагностике относятся фазированные решетки (ФР) пьезопреобразователей, обладающие рядом преимуществ в сравнении с одноэлементными, в частности, возможностями фокусировки и углового сканирования, исследования труднодоступных областей объекта контроля (ОК). К многоэлементным можно также отнести бесконтактные электромагнитно-акустические преобразователи (ЭМАП), которые могут быть представлены в виде ФР отдельных лент с током. Исследование полей УЗ преобразователей – обязательный элемент при разработке электроакустического тракта прибора. Грамотное формирование ДН ЭМАП приобретает первостепенное значение при их проектировании, так как позволяет несколько скомпенсировать низкие коэффициенты ЭМА преобразования за счет концентрации УЗ волн в узком телесном угле и в требуемом направлении. Принято считать, что мешающими в

ДН УЗ преобразователя являются близлежащие к основному боковые лепестки, приводящие к появлению артефактов УЗ изображения. Специфическим для ФР является возможность появления в его акустическом поле дифракционных лепестков (ДЛ), обусловленных интерференцией УЗ волн от дискретных элементов ФР. Амплитуда последних может быть соизмерима с амплитудой основного лепестка, при наличии хорошо отражающей поверхности в направлении ДЛ и при слабо отражающей поверхности в направлении основного лепестка может привести к искажениям УЗ изображения ОК и его ошибочной интерпретации.

В работе представлены результаты исследований акустических полей многоэлементных ЭМА и пьезопреобразователей с позиций влияния их конструктивных особенностей и параметров возбуждения на формирование боковых и ДЛ и разработка научно обоснованных требований к конструированию и использованию многоэлементных УЗ преобразователей, обеспечивающих требуемую ДН, заключающуюся в минимизации ширины основного лепестка, подавлении боковых лепестков, устранении ДЛ.

Разработана физико-математическая модель формирования акустических полей многоэлементных УЗ преобразователей, обобщенная на случай произвольных типов (синфазные (СФ) и противофазные (ПФ) ЭМАП, пьезопреобразователи) и волн (продольные, поперечные) в различных средах (жидкости и твердые тела), учитывающая акустические свойства среды распространения; конструктивные параметры преобразователя (апертура, количество элементов и зазоры между ними, зазор между ЭМАП и ОК); параметры возбуждения (рабочая частота, амплитудное распределение силового воздействия, фокусировка, угол ввода, режим работы); неравномерность зазора ЭМАП относительно ОК; возможные неисправности отдельных элементов решетки. Акустическое поле смещений находится как результат суперпозиции акустических полей от каждого  $n$ -го элемента решетки с собственной ДН с учетом функции направленности сосредоточенных источников, фазовых

сдвигов, обусловленных смещением отдельных элементов решетки; направлением угла прозвучивания, фокусным расстоянием [1].

Программное обеспечение «PATAF Simulator» [2], разработанное на основе описанной модели, реализовано на языке C++ (Qt оболочка) и реализует расчет и построение следующих основных характеристик акустического поля: распределение относительных амплитуд смещений вдоль оси наблюдения при фиксированном направлении прозвучивания, в том числе в ближней и дальней зонах (рис.1, а); распределение относительных амплитуд смещений по углу на фиксированном расстоянии (рис.1, б); визуализация акустического поля в плоскости (рис.1, в).

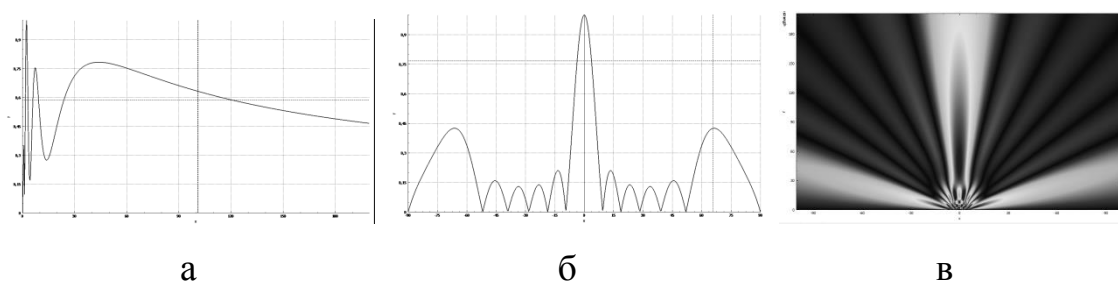


Рис. 1. Программа «PATAF Simulator»: результаты визуализации распределения акустического поля по дальности – а; по углу – б; в пространстве – в

На основе проведенных исследований научно обоснованы подходы к оптимизации конструктивных параметров СФ и ПФ ЭМАП при их проектировании для достижения требуемой ДН. Показано, что увеличение ширины единичного элемента, увеличение зазора, снижение рабочей частоты снижает уровень дифракционных лепестков в акустическом поле СФ и ПФ ЭМАП (рис. 2, 3), имеются области недопустимых значений количества элементов  $N$ , при которых уровень дифракционных лепестков максимален. Средний уровень боковых лепестков для СФ ЭМАП составляет 20 %, а для ПФ ЭМАП растет с увеличением ширины единичного элемента  $e$  и зазора  $h$ , что требует компромисса при выборе конструктивных параметров ФР для

минимизации амплитуд дифракционного и боковых лепестков. Большинство указанных требований к минимизации ДЛ ведут к снижению эффективности ЭМА-преобразования, поэтому следует искать компромисс между достижением требуемой чувствительности и требуемой ДН.

Установлено влияние угла сканирования, фокусного расстояния, рабочей частоты, конструктивных особенностей, возможных неисправностей отдельных элементов ФР на появление дифракционных и боковых лепестков в ДН многоэлементных секторных ФП УЗ диагностики.

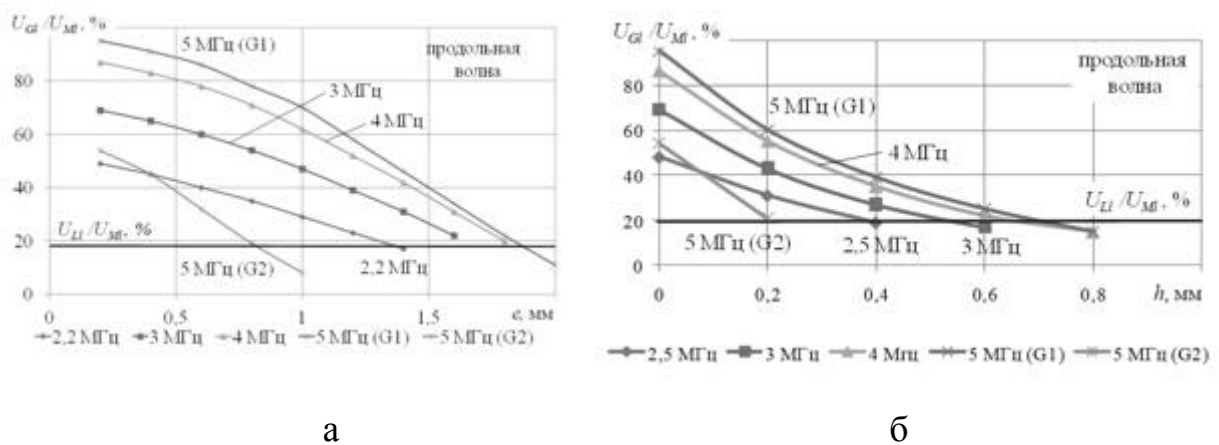


Рис. 2. Зависимость уровня ДЛ в ДН  $l$ -волн СФ ЭМАП на различных частотах  $f$  ( $r = 100$  мм,  $a = 13$  мм): а – от ширины  $e$  единичного элемента ( $a = 13$  мм,  $h = 0$  мм,  $N = 6$ ); б – от зазора между ЭМАП и ОК  $h$  ( $e = 0,2$  мм,  $N = 6$ ); в – от параметра решетки  $N$  ( $h = 0$  мм,  $g = 1$  мм,  $N = 6$ )

Показано, что при проектировании ФР пьезопреобразователей для УЗ диагностики с целью устранения возможности появления артефактов УЗ изображения следует учитывать следующее:

– использование высоких частот, малое количество приемопередающих каналов, малый зазор между элементами ведут к появлению мощных ДЛ в акустическом поле ФР, особенно при больших углах сканирования;

- импульсный режим возбуждения приводит к существенному снижению уровня дифракционных лепестков;
- появление неисправностей УЗ преобразователей ведет к появлению высокоамплитудных боковых лепестков; наиболее искажается акустическое поле вне фокусного расстояния для ФР с малым количеством элементов при высоких частотах на больших углах сканирования.

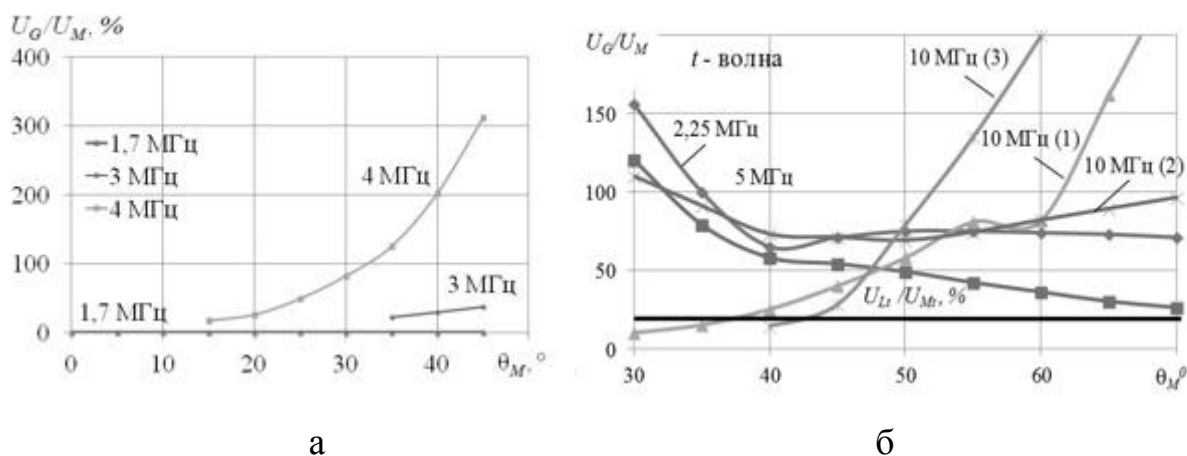


Рис. 4. Зависимость амплитуды ДЛ от угла основного лепестка  $\theta_M$  на различных частотах  $f$ :

- а – продольная волна, датчик General Electric 3S-RS УЗ медицинского сканера;  
б – поперечная волна, датчик 10L16-A10P УЗ дефектоскопа OLYMPUS на ФР

Работа выполнена в соответствии с разделом 2 мероприятий Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ им. М. Т. Калашникова» на 2012–2016 гг. (проект ПСР/М2/Н2.5/МВВ).

## Литература

1. Муравьева О. В., Мышкин А. В. Моделирование акустических полей синфазных электромагнитно-акустических преобразователей // Дефектоскопия. 2013. № 12. С. 69–76.
2. Программа моделирования акустических полей фазированных преобразователей. Свидетельство о государственной регистрации программы

для ЭВМ РФ / Муравьева О. В., Мышкин А. В., Муравьев В. В., Ленков С. В.,  
Мышкин Ю. В. № 2014660657, заявл. 28.08.2014, опубл. 13.10.2014.